

К. С. РАВДОНИК

К ВОПРОСУ О ПРЯМОМ ДЕЙСТВИИ СЛЫШИМЫХ ЗВУКОВ НА ИЗОЛИРОВАННЫЕ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТЫЕ МЫШЦЫ

(Представлено академиком К. М. Быковым 7 III 1949)

В одной из предыдущих работ Д. Насонов и К. Равдоник ⁽¹⁾ показали, что слышимые звуки могут непосредственно, без участия органов слуха, восприниматься поперечно-полосатыми мышцами (*m. sartorius*) лягушки как раздражители. Это было обнаружено прежде всего при помощи витальной окраски, которая, как известно ⁽²⁾, усиливается при действии на ткани самых разнообразных раздражителей. Мышцы подвергались окраске нейтральным красным и цианолом во время воздействия звуками одинаковой интенсивности (95 децибел) при различных частотах (от 200 до 10 000 герц) и вытяжки красителя сравнивались с вытяжками из контрольных мышц. Усиление окраски выражалось в процентах по отношению к окраске контрольных мышц.

Рис. 1 изображает полученную таким образом кривую, на которой ясно виден максимум действия звуков в области 3000 герц*. Далее оказалось, что как раз в этой области частот (от 2500 до 4000 герц) мышцы, подвергнутые озвучиванию, дают ясную и весьма характерную звуковую контрактуру с латентным периодом от 0,5 до 3 мин.

В настоящей работе я поставил себе целью:

1. Повторить кривую Д. Насонова и К. Равдоника ⁽¹⁾ для окраски мышц при действии звуков одинаковой интенсивности, но различной частоты колебаний.

2. Исследовать зависимость витальной окраски мышц от интенсивности звуков при постоянной частоте (3000 герц).

3. Найти порог звуковых контрактур при усилении интенсивности звуков одинаковой частоты (3000 герц).

4. Исследовать изменение возбудимости мышц под влиянием звукового раздражителя.

Объектом во всех случаях мне служили портняжные мышцы лягушки, причем применялась та же методика, что и в работе ⁽¹⁾.

Прежде всего была произведена экспериментальная проверка величины погрешности методики. Для этого без всякого воздействия в совершенно одинаковых условиях в течение 20 мин. окрашивались 1,0% нейтральным красным мышцы правой и левой лапки, причем окраска правой условно всегда принималась за 100%. Результаты приведены в табл. 1, из которой видно, что при 10 экспериментах величина ошибки равна $\pm 2,7\%$.

Далее была исследована зависимость степени витальной окраски мышц от частоты колебаний раздражающих звуков при одинаковом уровне их интенсивности. Эти опыты представляли собой точное повто-

* Интересно, что этот максимум совпадает с оптимумом слышимости для уха человека.

Таблица 1
Определение величины погрешности метода

№№ п. п.	Окраска левых мышц в % к правым
1	91
2	106
3	108
4	95
5	100,2
6	102
7	108
8	101
9	110
10	105,6
Средн. арифм.	102,7

Таблица 2
Влияние звуков различной частоты колебаний и одинакового уровня интенсивности (120 дб) на витальную окраску мышц (0,1% нейтральный красный)

Частоты звуковых колебаний в герцах	Усиление окраски озвученных мышц в % к контрольным
200	+ 9,4 ± 1,4
1 000	+ 18,4 ± 2,1
2 000	+ 19,6 ± 2,3
3 000	+ 25,8 ± 2,4
5 000	+ 15,0 ± 2,2
7 000	+ 14,4 ± 1,2
10 000	+ 5,0 ± 2,1

рение соответствующих экспериментов работы (1) с той только разницей, что я экспериментировал с осенними и зимними, а не весенними и летними лягушками. Кроме того, я применял звуки в 120 дб, а не 95, как авторы работы (1). Результаты опытов сведены в табл. 2 и изображены графически на рис. 1. Каждая цифра табл. 2 и соответственно каждая точка кривой представляют собой среднее арифметическое из 10 отдельных экспериментов (в таблице я привожу вероятные ошибки средней арифметической, вычисленные на основании этого материала).

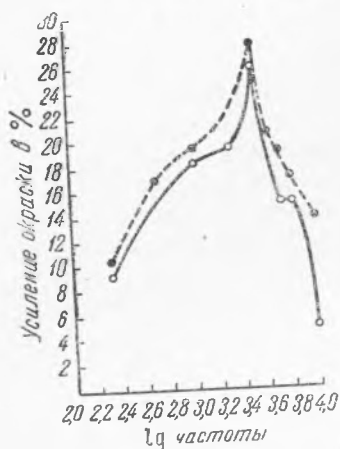


Рис. 1. Усиление витальной окрасиваемости нейтральным красным портяжных мышц лягушки под влиянием слышимых звуков различной частоты. 1 — кривая работы (1). 2 — кривая автора по материалам 1948 г.

При сравнении двух приведенных на рис. 1 кривых прежде всего бросается в глаза их большое сходство. Различие заключается в том, что все точки моей кривой лежат ниже точек кривой работы (1), что может быть объяснено меньшей возбудимостью осенне-зимних лягушек по сравнению с весенне-летними. Кроме того, на моей кривой яснее обозначены два «плато» — справа и слева от максимума. Середины этих плато приблизительно соответствуют частотам 1500 и 6000 герц. Первая из них в два раза меньше, а вторая в два раза больше частоты максимума (3000 герц). Д. Насонов и К. Равдо (1) высказали предположение, что этой частоте колебаний резонируют какие-то структуры белковых молекул протоплазмы исследуемых мышц. Можно предположить, что на моей кривой мы имеем дело с двумя добавочными резонансами, соответствующими двум октавам, соседним с главным резонансом у частоты 3000 герц.

Второй моей целью было исследование зависимости усиления витальной окраски мышц под влиянием звуков одинакового тона (3000 герц) при последовательном нарастании уровня их интенсивности. С точки зрения теории, развиваемой Д. Насоновым (3), кривую, изображающую такую зависимость, можно рассматривать как кривую градуальной реакции протоплазмы мышечных волокон на звуковое раздражение или кривую зависимости местного стойкого мышечного возбуждения от интенсивности звукового раздражения.

Было изучено действие звуков интенсивностью в 70, 75, 80, 85, 90, 95 и 120 дб, причем для каждой точки брались средние арифметические из 10 измерений. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из этих данных ясно виден пороговый характер действия звукового раздражителя. Для частоты в 3000 герц отчетливое повышение окрашиваемости начинается с 90 дб, а в области 95 дб уровень реакции как будто уже приближается к постоянной величине.

Если полученная кривая витальной окраски действительно соответствует кривой возбужденного состояния мышечных волокон, то в области значительного усиления витальной окраски мы вправе ожидать появления мышечных контрактур. Для проверки этого положения мною были изучены звуковые контрактуры, появляющиеся при действии звуков одного тона (3000 герц), но различной интенсивности*.

Исследуемые мышцы закреплялись на миографе на расстоянии 15 см от диффузора репродуктора. Запись велась при соотношении плеч пера 1 : 6. Всего было поставлено 30 экспериментов при интенсивностях

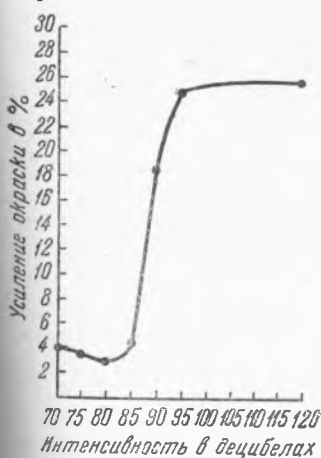


Рис. 2. Усиление витальной окрашиваемости нейтральным красным портняжным мышцам лягушки под влиянием слышимых звуков различной интенсивности при одинаковой частоте колебаний (3000 герц)

Таблица 3
Усиление окрашиваемости мышц под влиянием раздражения звуками одинакового тона (3000 герц) при различных уровнях интенсивности

Интенсивность звуков в дб	Усиление окраски в %
70	+ 3,8 ± 1,2
75	+ 3,6 ± 1,9
80	+ 3,1 ± 1,2
85	+ 4,3 ± 2,1
90	+ 18,8 ± 3,9
95	+ 24,9 ± 3,4
120	+ 25,8 ± 2,4

звука 90, 95 и 105 дб. Ввиду того, что запись во всех опытах велась при одинаковых условиях и во всех случаях подбирались мышцы одинаковой длины, можно было, измеряя на кимограммах высоту контрактур в миллиметрах, судить об относительной величине мышечных сокращений. Такого рода данные приведены в табл. 4, некоторые кимограммы изображены на рис. 3. Как видно из данных табл. 4, озвучивание мышц при интенсивности в 90 дб контрактур не вызывает. Контрактуры начинают появляться при 95 дб только в 50% случаев, причем по величине они очень незначительны (в среднем 1,98). При 105 дб мы наблюдаем возникновение контрактур в 70% случаев, причем средняя величина их равна 5,85 мм. Таким образом, мы имеем прямую зависимость величины контрактур от силы раздражителя, а порог возникновения их (95 дб) соответствует крутому подъему витальной окрашиваемости мышечных волокон (рис. 2). Подобное соотношение этих же величин* получали Д. Насонов и

его сотрудники⁽³⁾ при действии на мышцы самыми разнообразными раздражителями, что дало повод этим исследователям предположить, что так называемые «паранекротические» изменения протоплазмы, лежащие в основе усиления окрашиваемости, дают толчок к тем биохимическим превращениям, которые обуславливают мышечную контрактуру.

* Опыты с контрактурами проводились в августе и сентябре. Звуковые контрактуры получить на зимних лягушках значительно труднее.

** Паранекроза и контрактур.

Последняя серия опытов была поставлена с целью определения изменения возбудимости мышц при озвучивании. Для этой цели мышцы подвергались действию звука интенсивностью в 120 дБ при частоте ко-

Таблица 4

Звуковые контрактуры портняжных мышц лягушки при действии звуков различной интенсивности

Интенсивность звуков в дБ	Высота контрактур в миллиметрах										Среди.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	3,0	1,0	1,5	6,0	0	2,3	0	0	1,98
105	10	0	7,0	5,5	0	0	9,5	8,0	6,0	9,5	5,85

лебаний в 3000 герц на расстоянии 15 см от диффузора. Каждые 10 мин. определялся порог возбудимости мышц индуктором Дю-Буа-Реймона

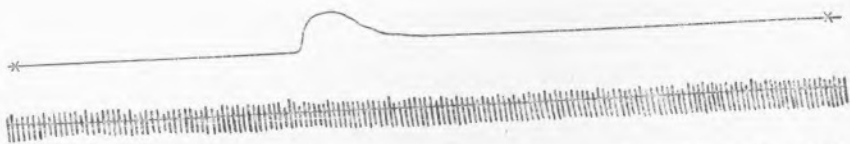


Рис. 3. Кимограмма звуковой контрактуры, полученной действием звука в 120 дБ при 3000 герц. Каждая отметка времени соответствует 1 сек. Крестиками отмечены начало и конец действия звука

при 4-вольтовом аккумуляторе. Результаты измерений приведены в табл. 5, из которой видно, что под влиянием звуков возбудимость мышц

Таблица 5

Изменение порогов возбудимости портняжных мышц лягушки при действии звука в 120 дБ при частоте колебаний 3000 герц (величина порога в сантиметрах катушки через различное время от начала озвучивания)

0 мин.	10 мин.	20 мин.	30 мин.	40 мин.	50 мин.	60 мин.	
26,0	25,5	25,0	30,0	31,0	25,0	20,0	
30,0	31,0	30,5	38,5	34,0	30,3	27,0	
35,0	40,0	48,0	47,0	41,0	35,0	35,0	
38,0	40,0	42,0	36,0	31,0	33,0	31,0	
37,0	36,0	38,0	37,0	34,0	32,0	30,0	
32,0	34,5	34,5	33,0	32,0	30,0	30,0	
39,0	43,0	45,5	39,0	35,0	36,0	34,0	
Среди. арифм.	33,0	37,0	37,3	37,0	33,0	31,0	30,0

в течение первых 20 мин. нарастает, после чего быстро падает. Таким образом, при звуковом раздражении мы имеем типичное двухфазное действие агента.

Поступило
22 II 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Н. Насонов и К. С. Равдоник, Физиол. журн. СССР, 33, 5 (1947).
² Д. Н. Насонов и В. Я. Александров, Реакция живого вещества на внешние воздействия, изд. АН СССР, М.—Л., 1940. ³ Д. Н. Насонов и И. П. Суздальская, Изв. АН СССР, сер. биол., № 4, 393 (1948).